

## UJI MODEL DINDING PENAHAN DENGAN TIMBUNAN DIPERKUAT PERKUATAN FLEKSIBEL

Arifin B \*

### Abstract

*The experiment are conduct in the laboratory to investigate the influence of the lateral earth pressure behind of the retaining wall which filled by granular backfill, it reinforced with flexible reinforcement (reinforcement unattached on the wall). The testing parameters are length and vertical spacing of reinforcement. The experiment result's indicate that the reinforcement could reduce the lateral earth pressure more than 50% for ratio (LR/H) 0,5-1 H and ratio vertical spacing (SV/H) 0,08 – 0,33.*

**Keywords:** soils reinforcement, retaining wall, lateral earth pressure

### Abstrak

Uji model ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh tekanan tanah lateral pada dinding penahan dengan tanah isian yang diperkuat perkuatan fleksibel (Perkuatan Tidak Tertancap Pada Dinding) pada pengujian laboratorium. Parameter yang di periksa adalah panjang perkuatan (LR) dan spasi vertikal (SV). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penyisipan perkuatan dapat memberikan reduksi tekanan tanah lateral yang maksimal dengan nilai reduksi rata – rata diatas 50 % untuk rasio parkuatan (LR/H) 0,5 – 1 H pada rasio spasi vertikal (SV/H) antara 0,08 – 0,33.

**Kata kunci:** perkuata tanah, diinding penahan tanah, tekanan lateral tanah

### 1. Pendahuluan

Penelitian ini akan mencoba mengamati perilaku sistem dinding penahan yang memanfaatkan sistem komposit geosintetik-tanah granular sebagai elemen penopang yang berada dibelakangnya.

Penelitian ini mengambil dasar dari penelitian **Pasley** yang melakukan serangkaian percobaan yang memberikan hasil bahwa terjadi pengurangan tekanan lateral yang bekerja pada dinding penahan jika timbunan atau tanah isianya diperkuat secara horizontal dengan tambahan semak belukar, papan kayu atau kanvas, filosofi yang baru diteliti setelah 150 tahun kemudian (**Saran, et.al, 1975 dalam Jones, 1996**). Hal ini juga Sejalan dengan konsep perkuatan tanah yang telah diperkenalkan oleh Casagrande

yang mengidealisasikan permasalahan dalam bentuk tanah alami yang diperkuat dengan membran dengan kekuatan tinggi (*high strength*) yang diletakkan secara horizontal (**Westergaard, 1938 dalam Jones, 1996**). Begitupula bentuk sistem perkuatan tanah yng diperkenalkan oleh **Henri Vidal** pada tahun 1960-an. Konsepnya adalah suatu material gabungan (composite) yang dibentuk dari perkuatan berbentuk lembaran yang diletakkan horizontal pada tanah berbutir. Interaksi yang terjadi antara tanah dengan perkuatan diperoleh melalui gesekan yang terjadi akibat beban gravitasi.

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu mendapatkan tambahan informasi dan pemahaman yang lebih lengkap lagi tentang perilaku perkuatan tanah menuju pengembangan bentuk

---

\* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

perkuatan yang murah dan dapat diperbaharui.

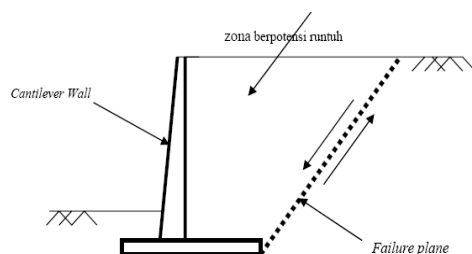
## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Sistem Perkuatan Tanah

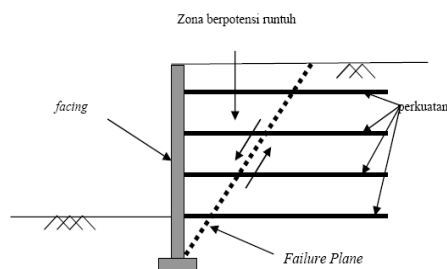
Sistem perbaikan dan perkuatan tanah secara garis besar dibagi menjadi dua (Das, B.M, 1994):

- *Internally Stability System* (stabilitas dari perkuatan tanah itu sendiri)
- *Externally Stability System* (stabilitas dari media yang akan diperkuat)

*Externally Stability* adalah bagian diluar dari perkuatan itu sendiri untuk melawan gaya-gaya yang menyebabkan keruntuhan pada dinding, seperti daya dukung tanah, daya dukung geser dan gelincir, serta penurunan. *Internally stability* mengindikasikan stabilitas jenis perkuatan itu sendiri, dalam hal ini seperti kapasitas tarik (*tensile capacity*), kapasitas geser (*friction capacity*), kapasitas lentur (*bending capacity*).



Gambar 1. Dinding Penahan tanpa perkuatan



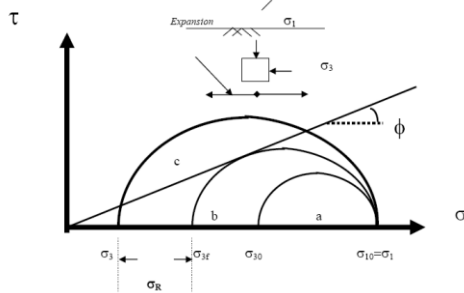
Gambar 2. Dinding Penahan tanpa perkuatan (Hausmann, M, 1990,)

### 2.2 Konsep Perkuatan Tanah

Tanah apabila berada pada kondisi kepadatan dan kadar air tertentu akan memiliki kekuatan yang cukup untuk menopang struktur di atasnya, khususnya apabila bebannya merupakan beban kompresi atau tekan. Tanah sangat lemah terhadap tarikan. Hal ini telah membatasi penggunaan tanah untuk berbagai aplikasi, misalnya untuk membuat lereng yang lebih curam dari sudut gesek dalamnya sudah tidak mungkin lagi untuk dilakukan. Seperti pada kasus beton bertulang, penyisipan besi baja yang kuat terhadap tarikan dapat menghasilkan material komposit yang memiliki perilaku mekanis yang jauh lebih baik. Aspek penting yang menunjang kesuksesan dari sistem perkuatan tanah adalah bahwa kedua material tersebut dapat membentuk suatu geometri tertentu yang memungkinkan terjadinya transfer beban dari material yang satu kepada yang lainnya. Analogi dengan beton bertulang, yaitu sistem beton bertulang didukung oleh adanya ikatan antara besi yang terdapat di dalam beton dengan campuran semen yang telah mengering. (Koerner, R.M, 1990).

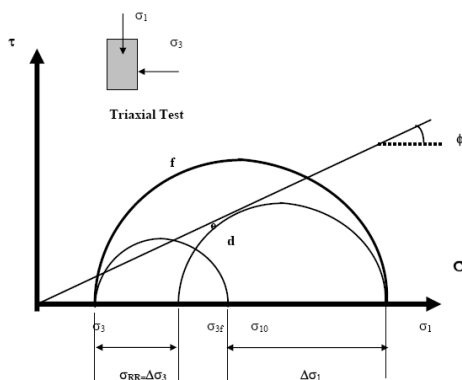
### 2.3 Perilaku Material Komposit Tanah – Perkuatan

Gambar 3 memperlihatkan perubahan tegangan massa tanah berbutir yang mengembang ke arah horizontal. Lingkaran Mohr a menggambarkan kondisi tegangan dalam keadaan diam (*at rest*), sedangkan lingkaran Mohr b menggambarkan kondisi keruntuhan tanah yang tidak diperkuat, ekuivalen dengan kondisi keseimbangan plastis Rankine aktif. Terlihat bahwa perkuatan dapat dipandang mampu menyediakan kekangan (*restraint*) sebesar  $\sigma_r$  yang memungkinkan bagi tegangan lateral untuk berkurang sebelum kondisi keruntuhan tanah diperkuat tercapai. Hal ini diperlihatkan oleh lingkaran Mohr bagian c.



Gambar 3. Perubahan Tegangan Pada Massa Tanah Yang Mengembang (Hausmann, 1990)

Gambar 3 menunjukkan perubahan tegangan pada pengujian triaksial standar di mana tegangan sel  $\sigma_3$  dijaga agar konstan. Kekangan perkuatan meningkatkan kuat tekan sebesar  $\Delta\sigma_1$  yang dilambangkan oleh lingkaran Mohr  $f$ , menggambarkan kondisi keruntuhan untuk material homogen yang setara dengan tanah yang diperkuat. Kasus regangan bidang (*plane strain*) dari tanah granular yang diperkuat yang mengembang ke arah perkuatan menghasilkan hubungan sederhana antara parameter kekuatan (*strength parameter*) dari tanah yang diperkuat dan karakteristik perkuatan. Untuk mengasumsikan bahwa pada massa tanah yang mengembang terjadi dengan cara runtuhnya perkuatan setara dengan kekangan lateral sebesar  $\sigma_R$  dengan suatu nilai maksimum  $\sigma_{R\max}$  tergantung kepada kekuatan dari perkuatan.



Gambar 4. Perubahan Tegangan Pada Pengujian Triaksial Standar (Hausmann, 1990)

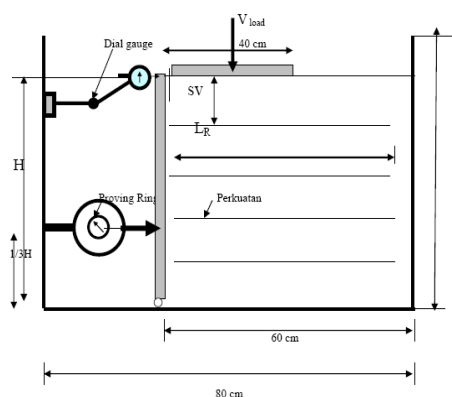
### 3. Metode Penelitian

#### • Model Tes Laboratorium

Pengujian model dinding penahan tanah dilakukan dalam sebuah kolam pasir yang berukuran panjang 80 cm, lebar 80 cm dan dalam 80 cm. Kolam terbuat dari baja yang dikelilinginya diperkaku dengan pelat baja. (Pfeifle, 1979).

Tanah pasir yang digunakan pada penelitian ini berasal dari sungai palu yang merupakan tanah pasir halus bergradasi baik. Model beban yang digunakan dalam penelitian ini yaitu beban merata dengan media ukuran media transfer yaitu panjang 40 cm dan lebar 80 cm,

Dengan kerapatan relatif 68% atau berat volumenya adalah 1,561 t/m<sup>3</sup>. Pengujian geser langsung material tanah pasir ini besarnya sudut gesernya adalah  $\phi$  37°, kemudian bahan perkuatan yang digunakan adalah dari jenis lembaran sintetik yang biasa dikenal masyarakat dengan nama terpal dan dijual bebas dipasaran, yang biasa digunakan sebagai bahan pelindung dari terpaan hujan dan sengatan matahari dan juga digunakan sebagai bahan baku pembuatan kemasakan (karung plastik). Bahan sintetik ini dengan ketebalan 0.11 mm, dengan kuat tarik (*breaking strength*) sebesar 18 kg/m.



Gambar 5. Skema Alat Uji Pembebanan

Sebelum pembebanan, tanah pasir dituang dengan menggunakan corong plastik yang berdiameter 1 cm, dengan tinggi jatuh konstan setinggi 70

cm untuk mendapatkan kerapatan relarif 68 %. Setelah tanah pasir dicurahkan sesuai dengan variasi spasi vertikal kemudian lembaran perkuatan disusun sesuai dengan geometri yang dibutuhkan, beban merata diletakkan diatas tanah pasir tersebut. Pengukuran besarnya tekanan tanah lateral dilakukan dengan membautkan proving ring pada dinding kolam pasir pada posisi titik berat dari tinggi dinding penahan (1/3H). Pengukuran rotasi dari

dinding penahan dilakukan di atas permukaan dinding penahan dengan menempelkan *dial gauge*.

Parameter geometris *retaining wall* yang diperkuat dengan perkuatan dapat dilihat pada tabel 1.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Hasil Uji Karakteristik Material Pengujian

Hasil uji karakteristik material disajikan pada tabel 2.

Tabel 1. Variasi model pembebanan dalam penelitian

| No. | Jenis Perkuatan | SV/H | LR/H | Beban Merata (Kg/m <sup>2</sup> ) | No. | Jenis Perkuatan | SV/H | LR/H | Beban Merata (Kg/m <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------------|------|------|-----------------------------------|-----|-----------------|------|------|-----------------------------------|
| 1   | -               | -    | -    | -                                 |     |                 |      |      |                                   |
| 2   | -               | -    | -    | 625                               |     |                 |      |      |                                   |
|     |                 | 0,08 |      |                                   |     |                 | 0,08 | 0,67 | 625                               |
|     |                 | 0,17 |      |                                   |     |                 | 0,17 |      |                                   |
| 3   | OSS             | 0,25 | 1,00 | 625                               | 5   | OSS             | 0,25 |      |                                   |
|     |                 | 0,33 |      |                                   |     |                 | 0,33 |      |                                   |
|     |                 | 0,50 |      |                                   |     |                 | 0,50 |      |                                   |
|     |                 | 0,08 |      |                                   |     |                 | 0,08 | 0,50 | 625                               |
|     |                 | 0,17 |      |                                   |     |                 | 0,17 |      |                                   |
| 4   | OSS             | 0,25 | 0,83 | 625                               | 6   | OSS             | 0,25 |      |                                   |
|     |                 | 0,33 |      |                                   |     |                 | 0,33 |      |                                   |
|     |                 | 0,50 |      |                                   |     |                 | 0,50 |      |                                   |
|     |                 | 0,08 |      |                                   |     | OSS             | 0,08 | 0,33 | 625                               |
|     |                 | 0,17 |      |                                   |     |                 | 0,17 |      |                                   |
| 5   | OSS             | 0,25 | 0,67 | 625                               | 7   |                 | 0,25 |      |                                   |
|     |                 | 0,33 |      |                                   |     |                 | 0,33 |      |                                   |
|     |                 | 0,50 |      |                                   |     |                 | 0,50 |      |                                   |
|     |                 | 0,08 |      |                                   |     | OSS             | 0,08 | 0,25 | 625                               |
|     |                 | 0,17 |      |                                   |     |                 | 0,17 |      |                                   |
| 6   | OSS             | 0,25 | 0,50 | 625                               | 8   |                 | 0,25 |      |                                   |
|     |                 | 0,33 |      |                                   |     |                 | 0,33 |      |                                   |
|     |                 | 0,50 |      |                                   |     |                 | 0,50 |      |                                   |

Tabel 2. hasil uji karakteristik material perkuatan

| No. | Karakteristik               | Nilai |
|-----|-----------------------------|-------|
| 1.  | Tebal perkuatan (mm).       | 0,011 |
| 2.  | Kuat tarik maksimum (kg/m). | 18,00 |

Table 3. hasil uji karakteristik material pasir

| No. | Karakteristik   | Nilai  |
|-----|---|--------|
| 1.  | Koefisien keseragaman, $C_u$  | 2..478 |
| 2   | Koefisien gradasi, $C_c$  | 0,989  |
| 3   | $D_{10}$ (%)  | 0.230  |
| 4   | $D_{30}$ (%)  | 0.360  |
| 5   | $D_{60}$ (%)  | 0.570  |
| 6   | Berat volume kering minimum, $\gamma_{d \min}$ (t/m <sup>3</sup> )  | 1.403  |
| 7   | Berat volume kering maksimum, $\gamma_{d \max}$ (t/m <sup>3</sup> ) | 1.648  |
| 8   | Berat volume kering uji beban, $\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )       | 1.561  |
| 9   | Kepadatan relatif, $D_r$ (%)  | 68 (%) |
| 10  | Sudut tescok intern, $\phi$ (derajat)                               | 37.00  |
| 11  | Specific gravity (Gs)   | 2.681  |

Analisa ayakan terhadap material tanah pasir menghasilkan kurva distribusi ukuran butiran sebagaimana terlihat pada gambar 5, dari gambar tersebut dapat ditentukan besaran-besaran nilai  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  dan  $D_{60}$  yang diperlukan untuk menentukan koefisien keseragaman  $C_u$  dan koefisien gradasi  $C_c$ .

Koefisien keseragaman  $C_c$  didefinisikan dengan persamaan:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,57}{0,23} = 2,478$$

Sedang koefisien gradasi  $C_c$  dapat didefinisikan dengan persamaan:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{0,36^2}{0,57 \times 0,23} = 0,989$$

Lolos saringan no. 200 adalah sebesar 0.32% dari berat total sampel pasir. Berdasarkan klasifikasi *unified*, untuk tanah dengan  $C_u = 2.478$  ( $C_u < 6$ ),  $C_c = 0.989$  ( $1 < C_c < 3$ ), serta lolos saringan 200 sebesar 0.32% dari berat sampel yang berarti kurang dari 5% berat sampel, maka tanah ini tergolong pasir bergradasi buruk (*Poorly Graded sand*).

#### 4.2 Analisis Data Penelitian

Setelah data percobaan diperoleh dari penelitian ini, diperlukan analisis untuk mengetahui sejauh mana kontribusi *Ordinary Synthetic Sheet* (OSS) dalam mereduksi tekanan tanah lateral pada tanah isian.

Setelah diperoleh besarnya tekanan tanah lateral pada dinding penahan, baik pada dinding penahan diperkuat maupun yang tidak diperkuat, maka akan diperoleh perbandingan besarnya momen terhadap rotasi dinding.

Hasil pengujian *dimensionless* (tidak berdimensi) ini kemudian diplot kedalam diagram kartesius ( $X - Y$ ), dimana momen diletakkan pada sumbu Y sementara rasio panjang perkuatan terhadap tinggi dinding diletakkan pada sumbu X.

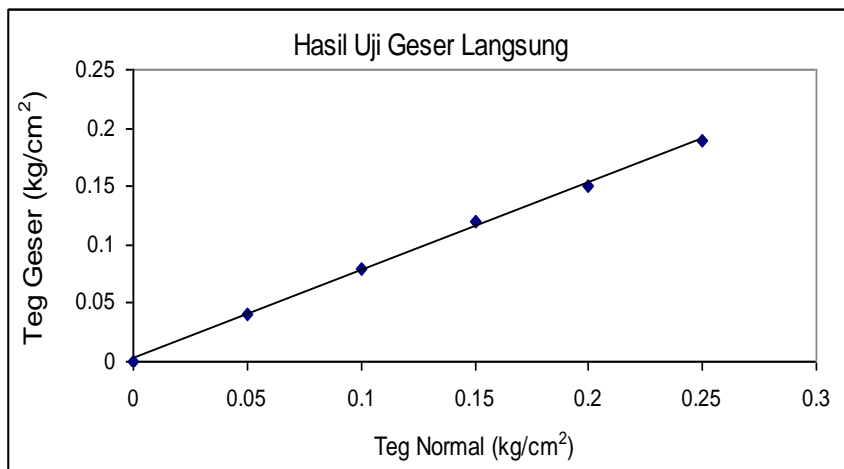
#### 4.3 Pengaruh Perubahan Rasio Panjang Perkuatan terhadap Momen

Pada grafik terlihat pada gambar 7, menunjukkan bahwa pengaruh geometri perkuatan ( $LR/H$ ) terhadap momen mengindikasikan adanya

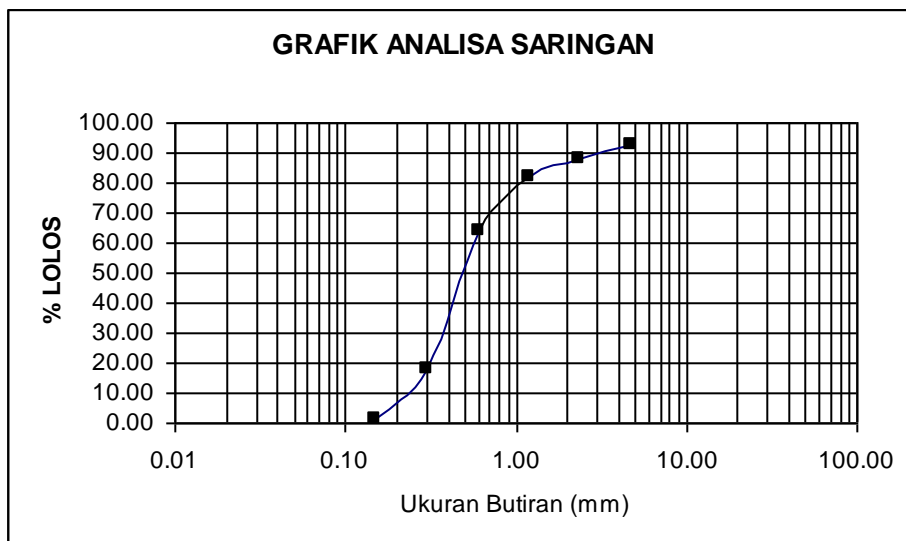
kekangan terhadap tekanan tanah lateral.

Dari penelitian ini terlihat bahwa nilai rasio geometri perkuatan yang besar daya kekangannya dimana hampir seluruh variasi spasi vertikal yang memiliki kemampuan reduksi rata – rata diatas 50 % adalah 0,5 – 1H pada saat rasio spasi vertikal (SV/H) sama dengan 0,08 – 0,33H.

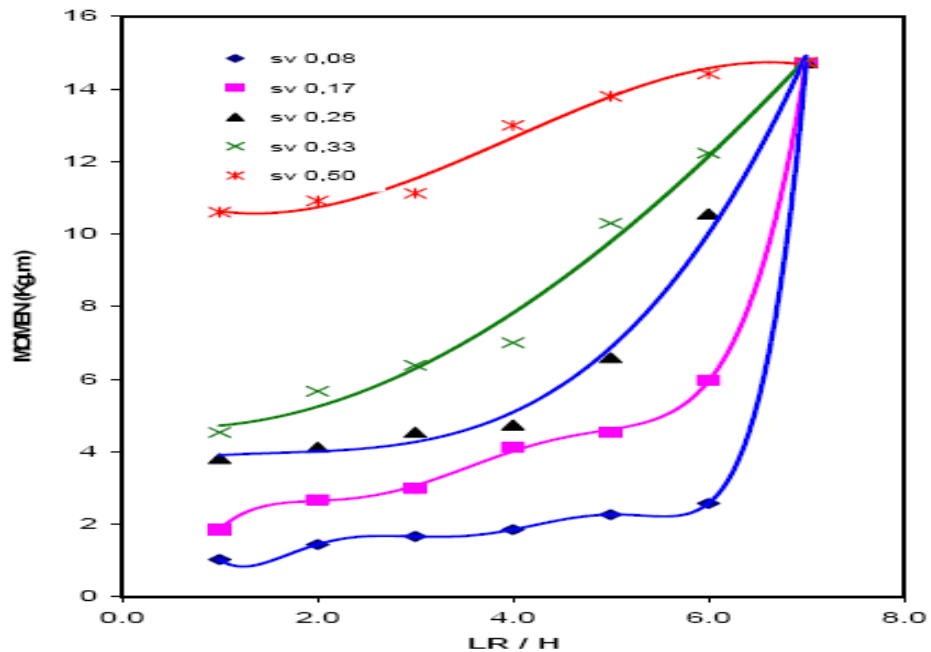
Sementara, untuk rasio geometri perkuatan (LR/H) 0,33H yang memiliki kemampuan reduksi rata – rata diatas 50 % hanya pada spasi vertikal (SV/H) 0,08 – 0,25H. Kemudian untuk rasio geometri perkuatan (LR/H) 0,25H yang memiliki kemampuan reduksi rata – rata diatas 50 % hanya pada spasi vertikal (SV/H) 0,08 – 0,16H.



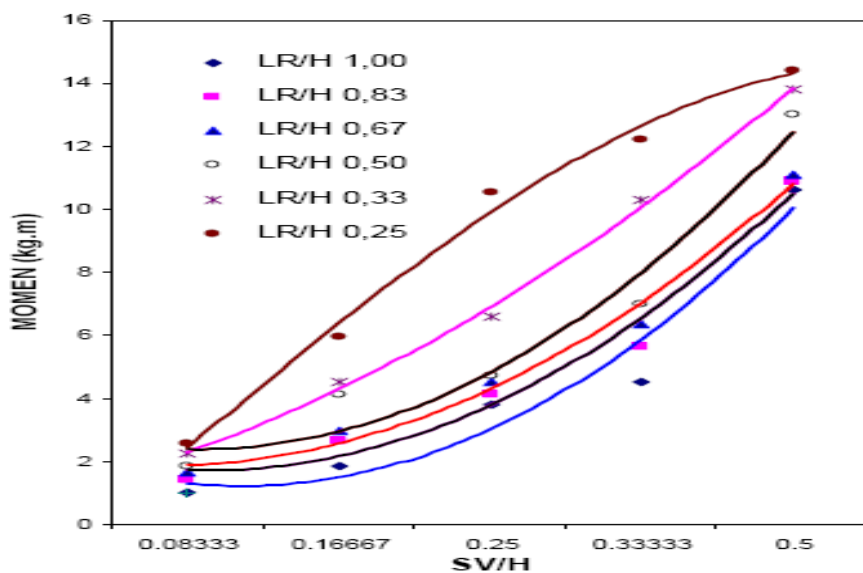
Gambar 6. Plot Tegangan Normal Terhadap Tegangan Geser



Gambar 7. Kurva Distribusi Ukuran Butiran



Gambar 8. Grafik Pengaruh Rasio Panjang Perkuatan (LR/H) – Momen



Gambar 9. Grafik Pengaruh Rasio Spasi Vertikal (SV/H) – Momen

4.4 Pembahasan pengaruh perubahan Rasio Spasi Vertikal terhadap Momen.

Gambar 8 menunjukkan adanya kecenderungan bahwa dengan semakin

besarnya nilai rasio spasi vertikal terhadap dinding (SV/H) akan diikuti dengan semakin kecilnya kekangan pada tekanan lateral dan sebaliknya semakin kecil nilai rasio spasi vertikal

akan diikuti dengan semakin besar daya kekangan lateral yang terjadi.. Kondisi ini dapat dilihat dari grafik bahwa semakin besarnya nilai rasio spasi vertikal akan berakibat pada nilai momen yang semakin besar pula.

Hal ini dapat dibuktikan dari nilai persentase reduksi, untuk rasio spasi vertikal sama dengan 0,08H pada saat

rasio geometri perkuatan (LR/H) adalah 1 dimana terjadi reduksi sebesar 93,01 %, sementara untuk rasio spasi vertikal 0,25H pada saat rasio geometri sama dengan 1 menunjukkan daya reduksinya yang terjadi hanya sebesar 74,13 %, sehingga telah terjadi penurunan reduksi antara rasio spasi vertikal 0,08H dengan 0,25H sebesar 18 %.

Tabel 4. Data Pengaruh Rasio Geometri Perkuatan (LR/H) - Momen

| LR/H | (SV/H) 0,08 | (SV/H) 0,17 | (SV/H) 0,25 | (SV/H) 0,33 | (SV/H) 0,50 |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1,00 | 1,0299      | 1,8539      | 3,8109      | 4,5319      | 10,6087     |
| 0,83 | 1,4419      | 2,6779      | 4,1199      | 5,6648      | 10,9177     |
| 0,67 | 1,6640      | 2,9869      | 4,5319      | 6,3858      | 11,1237     |
| 0,50 | 1,8539      | 4,5319      | 4,7379      | 7,0038      | 12,9977     |
| 0,33 | 2,2659      | 4,5319      | 6,5918      | 10,2997     | 13,8016     |
| 0,25 | 2,5749      | 5,9738      | 10,557      | 12,2359     | 14,4196     |

Tabel 5. Data Pengaruh Rasio Spasi Vertikal (SV/H) - Momen

| SV/H | (LR/H) 1,00 | (LR/H) 0,83 | (LR/H) 0,67 | (LR/H) 0,50 | (LR/H) 0,33 | (LR/H) 0,50 |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,08 | 1,0299      | 1,4419      | 1,664       | 1,8539      | 2,2659      | 2,5749      |
| 0,17 | 1,8539      | 2,6779      | 2,9869      | 4,5319      | 4,5319      | 5,9738      |
| 0,25 | 3,8109      | 4,1199      | 4,5319      | 4,7379      | 6,5918      | 10,557      |
| 0,33 | 4,5319      | 5,6648      | 6,3858      | 7,0038      | 10,2997     | 12,2359     |
| 0,50 | 10,6087     | 10,9177     | 11,1237     | 12,9977     | 13,8016     | 14,4196     |

Tabel 6. Data Pengaruh Rasio Geometri Perkuatan (LR/H) – Momen (%)

| LR/H | (SV/H) 0,08 | (SV/H) 0,17 | (SV/H) 0,25 | (SV/H) 0,33 | (SV/H) 0,50 |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1,00 | 93.01       | 87.41       | 74.13       | 69.23       | 27.97       |
| 0,83 | 90.21       | 81.82       | 72.03       | 61.54       | 25.87       |
| 0,67 | 88.70       | 79.72       | 69.23       | 56.64       | 24.48       |
| 0,50 | 87.41       | 72.03       | 67.83       | 52.45       | 11.75       |
| 0,33 | 84.62       | 69.23       | 55.24       | 30.07       | 6.29        |
| 0,25 | 82.52       | 59.44       | 28.32       | 16.92       | 2.10        |



## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

- Dari hasil percobaan model tes laboratorium, terhadap tanah isian (backfill) yang diperkuat dengan *Ordinary Synthetic Sheet* (OSS), dengan variasi panjang perkuatan (LR) dan spasi Vertikal (SV). Seperti tercantum pada tabel (4-6), yang telah dipresentasikan. Berdasarkan hasil percobaan model tes di laboratorium, dapat ditarik kesimpulan antara lain :
- Penempatan perkuatan mengindikasikan adanya kekangan terhadap tekanan tanah lateral.
- Panjang perkuatan (LR) dan spasi vertikal (SV) sangat mempengaruhi peningkatan terhadap kekangan terhadap tekanan lateral.
- Keruntuhan yang terjadi disebabkan karena lepasnya ikatan antara tanah pasir dan perkuatan (*Pullout Failure*) dan bukan disebabkan oleh putusannya lembaran perkuatan (*Reinforcement Breakage*).
- Keruntuhan yang disebabkan oleh lepasnya ikatan antara tanah pasir dengan perkuatan (*Pullout Failure*), mengindikasikan telah terjadi komposit antara tanah pasir dan perkuatan .
- Lepasnya tanah pasir dan perkuatan lebih disebabkan oleh tekanan pengekan (*Confining Pressure*) yang rendah.
- Dari penelitian ini menunjukkan semakin besar nilai rasio perkuatan (LR/H) dan semakin kecil nilai rasio spasi vertikal (SV/H) mengindikasikan adanya peningkatan kekangan (*Confinement*) pada tekanan lateral.
- Nilai rasio parkuatan (LR/H) yang menghasilkan raduksi lateral signifikan adalah  $0,5 - 1 H$  pada saat rasio spasi vertikal (SV/H) antara  $0,08 - 0,33 H$  dimana nilai reduksinya rata - rata diatas 50 %.

### 5.2 Saran-saran

Untuk pengembangan penelitian studi daya reduksi lateral pada *backfill* yang diperkuat, pada masa yang akan

datang perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut :

- Pengaruh ukuran dinding penahan tanah dan efek skala belum diteliti pada penelitian ini, sehingga hasil uji model ini belum dapat ditransfer secara langsung pada dinding penahan tanah ukuran skala penuh tanpa penelitian lebih lanjut.
- Dalam melakukan melakukan pengujian pembebanan sebaiknya kepadatan relatif ( $D_r$ ) divariasikan sehingga dapat diketahui pada kepadatan relatif berapa yang dapat menghasilkan kemampuan reduksi yang maksimum.

## 6. Daftar Pustaka

- Das, B.M. ,1994, *Principles of Fondation Engineering*, Third Edition, pws Publishing Company, United State of America.
- Hausmann, M., ,1990, *Engineering Priciples of Geogrid Modification*, Int' 1 Ed., Mc Grand Hill International, Singapore.
- Jones, C.J.F.P., 1996, *Earth Reinforcement and Soil Structures*, New Edition , Thomas Telford, London.
- Koerner , R.M .,1990, " *Designing With Geosynthetics*", Second Ed., New Jersey : Prentice - Hall, Engelwood Cliffs.
- Pfeifle, T.W and Das, B.M .,1979," *Model Test for Bearing Capacity in sand*", *Journal of Geotechnical Engineering* , ASCE, Vol 105, No. GT 9, September 1979.
- Saran, Swami., Garg , K.G. and Bhindari, R.K., 1992, *Retaining Wall With Cohesionless Backfill*, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, vol 118, No. GT 12, Desember 1992.